

УДК 628.474.3; 504.054

**СУЧАСНИЙ СТАН СИСТЕМ ГАЗООЧИЩЕННЯ І КОНТРОЛЮ  
ВИКИДІВ СМІТТЄСПАЛЮВАЛЬНИХ ЗАВОДІВ****В.Б. ДРОМЕНКО**

Київський національний університет технологій та дизайну

*Проведено аналіз технічних пристроїв, технологічних режимів газоочищення, систем аналітичного контролю газоподібних продуктів спалювання діючих сучасних сміттєспалювальних заводів. Обґрунтовано необхідність удосконалення існуючих методик визначення окремих органічних забруднювачів і розробки нових уніфікованих газоаналізаторів, що охоплюють широкий спектр компонентів*

Величезна кількість промислових і побутових відходів сьогодення потребує створення принципово нових техніки і технологій по їх переробці, розробка яких повинна враховувати вплив на навколишнє середовище і людину. Безпечної технології переробки відходів немає! Термічні методи утилізації твердих промислових і побутових відходів (ТПВ) на теперішній час набули неоднозначної оцінки у світовій практиці. Робота будь-якого сміттєспалювального заводу (ССЗ) безумовно супроводжується комплексним забрудненням атмосферного середовища. Димові гази ССЗ являють собою складну багатокомпонентну суміш, у складі якої ідентифіковано і кількісно визначено 27 інгредієнтів [1].

Чи є альтернатива термічній переробці? Чи безпечніші звалища ТПВ, де важкі метали та їх сполуки, рано чи пізно, потраплять в підземні води, відбудеться виділення метану, створення парникового ефекту і отруєння навколишнього середовища? Особливо небезпечні пожежі на звалищах, де високотоксичні сполуки переносяться в навколишнє середовище взагалі без газоочищення, а птахи переносять отруєні продукти розкладання. Цим, мабуть, і пояснюється розповсюдження онкологічних захворювань в Україні.

***Об'єкти та методи дослідження***

Викиди ССЗ несприятливо впливають на атмосферне середовище в зоні радіусом 500...1000 м. Концентрації речовин, які виявлені у викидах ССЗ, перевищують відповідні нормативи для атмосферного повітря: по зважених речовинах – в 2,2...3,2 рази, по хлористому водню – в 2,7...3,0 рази, по фтористому водню – в 1,9...4,8 рази, по формальдегіду – в 1,7 рази, по бенз-а-пирену – в 7 разів, по двоокису азоту – в 1,5 рази [1]. За даними [2, 3], при спалюванні ТПВ в газоподібний стан переходять 72...95% ртуті, 85% хлора, 75% миш'яку, 38% фтору, 5...33% свинцю, 4...27% цинку, 1...7% міді, 7% нікелю, 6% хрому і 0,02% заліза, що містяться в спалюваних відходах.

***Постановка завдання***

Спалювання ТПВ при наявності в них хлорорганічних сполук (пластмас) супроводжується утворенням і викидом в атмосферу великої кількості високотоксичних сполук з групи діоксинів та фуранів (від ~11 до ~20 мас.% від загальної їх кількості) [4]. Експлуатація ССЗ, де спалювання відходів відбувається при температурі <1200°C, заборонена в більшості розвинених країн. Сучасна технологія передбачає спалювання відходів, або допалювання продуктів згорання при температурі вище 1200°C. В цьому випадку складні сполуки розкладаються на прості, зокрема хлорорганічні пластмаси розпадаються на пари соляної кислоти, які беруть участь в утворенні солей. Таким чином відбувається зв'язування хлорорганічних сполук, що перешкоджає повторному відновленню діоксинів. ССЗ, які працюють за такою технологією, будуються в більшості розвинених країн, причому безпосередньо в міській межі і, при відповідних газоочищенні і контролі, не створюють шкоди навколишньому середовищу. Проте,

експлуатація подібних об'єктів викликає побоювання екологів по трьом серйозним питанням: технологіях переробки, системах газоочищення і безперервному контролю складу димових газів.

В зв'язку з цим аналіз технічних пристроїв, технологічних режимів газоочищення, систем аналітичного контролю газоподібних продуктів спалювання діючих сучасних ССЗ, представляє значний інтерес для покращення екологічної безпеки атмосферного середовища України.

### **Результати та їх обговорення**

Технологія прямого спалювання ТПВ вимагає складного, дорогого і багатостадійного газоочищення. Причому, використовувані види газоочисного устаткування не повною мірою відповідають вимогам, що пред'являється до продуктів спалювання ТПВ. Дороге газоочищення серйозно погіршує економічні показники ССЗ і вимагає великих інвестицій в розробку, дослідження, проектування, монтаж і експлуатацію. Ця обставина істотно полегшується, якщо організовується сортування ТПВ в місцях їх утворення так, як це відбувається в Німеччині, Японії і низці інших країн. Однак, налагодити сортування ТПВ вдається далеко не в усіх країнах – наприклад, в Англії, Україні. Тому застосування європейського устаткування і технологій для спалювання непідготовлених українських ТПВ не є екологічно ефективним рішенням.

Відомо [5], що кількість і склад димових газів, що утворюються при термічній обробці ТПВ, залежать від складу спалюваних відходів і технологічних параметрів процесу. Так, при спалюванні 1 т ТПВ утворюється 5-6 тис. м<sup>3</sup> газів. Термічні методи переробки ТПВ є екологічно безпечними тільки при використанні сучасних ефективних методів газоочищення.

При оцінці якості очищення газів слід керуватися прийнятими в Україні нормами Європейського Союзу (НЕС). Європейська Директива по спалюванню відходів від 04.12.2000 № 2000/76/ЄС встановлює гранично допустимі норми забруднюючих речовин для середньотижневих викидів в атмосферу (табл. 1), а також гранично допустимі норми разових викидів, які можуть виникати протягом півгодини.

Таблиця 1. Норми граничнодопустимих викидів в атмосферне середовище в ЄС [6]

Речовина	Граничний викид (мг/м <sup>3</sup> )
Загальний попіл	10
Ртуть (Hg)	0,05
Кадмій +Талій (Cd + Tl)	Всього 0,05
Сурма (Sb), миш'як (As), свинець (Pb), хром (Cr), кобальт (Co), мідь (Cu), марганець (Mn), нікель (Ni), ванадій (V)	Всього 0,5
Чадний газ (CO)	50
Сірчистий газ (SO <sub>2</sub> )	50
Оксиди азоту (NO <sub>x</sub> )	200
Хлористоводнева кислота (HCl)	10
Фтористоводнева кислота (HF)	1
Діоксини та фурані (ПХДД та ПХДФ)	0,1 нг ТЕ/м <sup>3</sup>

Основним джерелом викидів хлористоводневої кислоти (HCl) є спалювання полівінілхлоридних пластмас, що знаходяться в потоці сміття. Саме HCl є відповідальною за утворення знову діоксинів в

холодній зоні. Крім того, вона вкрай агресивна по відношенню до металу камер спалювання. Сірчистий газ ( $\text{SO}_2$ ) завжди утворюється при горінні сміття, оскільки органічні залишки містять сірку, та супроводжується різким запахом розкладання. Оксиди азоту вельми токсичні (ГДК для  $\text{NO}_2$   $9 \text{ мг/м}^3$ , для решти оксидів  $5 \text{ мг/м}^3$  в перерахунку на  $\text{NO}_2$ ) [7]. Чим вище температура спалювання, тим вище рівень викидів в атмосферу цих токсикантів. Для повного очищення газів від оксидів азоту доводиться вдаватися вже не тільки до фільтрів і скрубєрів, а й до каталітичного допалювання. Чадний газ ( $\text{CO}$ ) може утворюватися у великих кількостях при порушеннях режимів спалювання. Оскільки цей газ нейтральний – тому дуже важко уловлюється. Він небезпечний навіть в вельми малих концентраціях (ГДК  $0,03 \text{ мг/м}^3$ ). Як відомо, чадний газ викликає кисневе голодування тканин, до якого найбільш чутлива центральна нервова система, що, в решті решт, відбивається на стані внутрішніх органів людини.

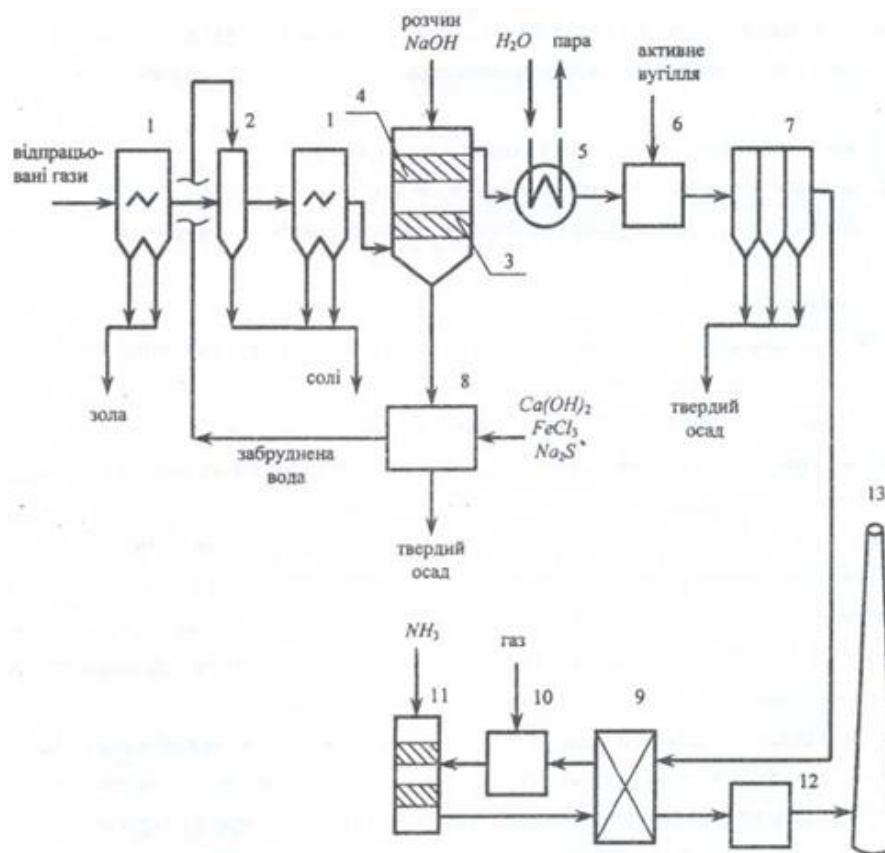


Рис. 1. Схема сучасних газоочисних споруд ССЗ (м. Алмаар, Нідерланди), [10]:

**1** – електростатичні фільтри; **2** – випарник для забрудненої води; **3** – скрубєр для кислотної промивки газів; **4** – скрубєр для лужної промивки газів; **5** – теплообмінник; **6** – фільтр з активним вугіллем; **7** – пілові фільтри; **8** – блок нейтралізації ( $\text{Ca(OH)}_2$ ), флокуляції ( $\text{FeCl}_3$ ) та соосадження ( $\text{Na}_2\text{S}$ ); **9** – регенеративний теплообмінник; **10** – блок підігріву очищених відпрацьованих газів; **11** – реактор сумісного каталітичного допалювання оксидів азоту ( $\text{NO}_x$ ) та діоксинів; **12** – лабораторія; **13** – димар

При оцінці ефективності будь-якого ССЗ питання про викиди мікрозабруднень є наріжним каменем. По НЕС вміст діоксинів та фуранів в газах, що відходять, повинен бути не вище  $0,1 \text{ нг/м}^3$  в токсичних еквівалентах (ТЕ). Пильна увага до мікрозабруднень пов'язана з тим, що до їх числа входять речовини вкрай токсичні і вельми небезпечні для здоров'я. Ці речовини, діоксини та фурани (ПХДД та ПХДФ), а також поліароматичні вуглеводні (ПАВ), проявляють свої токсичні властивості вже при таких малих концентраціях,

що мікрокількості їх в газових викидах ССЗ є дуже небезпечними. Якщо «звичайні» токсиканти небезпечні при концентраціях міліграм на кубометр ( $10^{-3}$  г/м<sup>3</sup>), то ПАВ небезпечні при концентрації мікрограм на кубометр ( $10^{-6}$  г/м<sup>3</sup>), а ПХДД та ПХДФ – при долях нанограм в кубометрі ( $10^{-12}$ – $10^{-15}$  г/м<sup>3</sup>).

Структура газоочисних споруд представлена на рис.1.

Основними пристроями для очищення газів сучасних ССЗ є (на прикладі ССЗ у м. Алкмаар, Нідерланди) [8] :

- перший електростатичний фільтр – очищення від пилу;
- випарник для забрудненої води – охолодження газів і часткове видалення HCl;
- другий електростатичний фільтр – додаткове очищення від пилу та солі, що утворилася на попередній стадії;
- скруббер для поглинання кислих газів (1 стадія) – видалення HCl;
- скруббер з лужним розчином (2 стадія) – видалення кислих газів HCl, HF, SO<sub>2</sub>;
- обробка стічних вод після скрубберів (нейтралізація, флокуляція та осадження), очищена вода поступає у випарник;
- теплообмінник;
- реактор з додатковим введенням активного вугілля – первинне видалення діоксинів та фуранів;
- пилові фільтри – видалення тонких пилових частинок;
- розігрів відпрацьованих газів перед каталітичним допалюванням оксидів азоту;
- реактор придушення NOx (з введенням NH<sub>3</sub>), цей реактор тепер сполучають і з каталітичним допалюванням діоксинів.

Таким чином, в систему газоочищення введено три протипилові фільтри, два зрошувані скрубери, фільтр з активованим вугіллям і систему допалювання оксидів азоту та діоксинів.

Перш ніж багато разів очищені димові гази поступають по димарю в атмосферу, вони піддаються [9] аналізу численними контрольно-вимірними приладами, які дозволяють здійснювати постійні виміри, контроль і реєстрацію даних складу димових газів, що відходять.

Як вказано в [8], значна частина діоксинів та фуранів, що утворилися, адсорбована на частинках летючої золи. Тому зменшення пилу призводить до зниження забрудненості димових газів ССЗ діоксинами та фуранами. Проте після проходження гарячих електростатичних фільтрів кількість пилу зменшується, а концентрація діоксинів та фуранів збільшується. Реально знижують вміст діоксинів та фуранів в газових викидах тільки вугільні фільтри, на яких діоксин необоротно зв'язується, і спеціальні каталітичні допалювальники, об'єднані з допалюванням NOx. Саме в силу труднощів уловлювання діоксину очисні споруди сучасних ССЗ коштують дуже дорого.

Сучасні ССЗ відрізняються від попередніх досконалішою системою очищення газів, що відходять: 11 ступенів очищення замість 2–4 колишніх. До числа найбільш ефективних методів входять вугільні фільтри і низькотемпературне каталітичне очищення від оксидів азоту і діоксинів [11].

Після очищення димові гази викидаються через димар заввишки ~100 м. У димарі встановлена газоаналітична система, яка призначена для безперервного контролю лабораторією ССЗ вмісту шкідливих речовин в димових газах. Зарубіжний досвід показує [12], що за методом відбору проби газоаналітичні системи принципово поділяються на дві групи: газоаналізатори без відбору проби та газоаналізатори з відбором проби.

За допомогою пробовідбірних систем можна вимірювати концентрації таких газових компонентів, як  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , пари ртуті, вуглеводнів, фреонів, вуглецю і багато інших. В таких системах використовуються наступні методи вимірювань [12]: недисперсійна ІЧ та УФ фотометрія; хемілюмінісценція; іонізація в полум'ї; парамагнітний ефект; електрохімічні чарунки.

Перевагами газоаналітичних систем з відбором проби є:

- одночасне високоточне вимірювання значної кількості газових компонентів;
- широкий спектр вимірювальних задач;
- повністю автоматизовані вимірювання в складних умовах експлуатації, де робота без відбору проби неможлива.

Стаціонарні газоаналізатори без відбору проби можуть бути двох варіантів: для вимірювання упоперек перерізу газоходу (рис. 2) та з вимірювальним зондом (рис. 3). Це розширює можливості використання приладів в різних умовах експлуатації.

Переваги вимірювання упоперек перерізу газоходу:

- концентрації газів вимірюються по ширині газоходу, що забезпечує хорошу показність даних;
- концентрації фіксуються в режимі реального часу, вимірювальна інформація відображає динаміку процесу.

Зонд з вимірювальною щілиною має такі переваги:

- вимірювання при високій концентрації пилу;
- можливість використання в складних умовах – при надмірному тиску, у вологих газах, при вимірюванні високих концентрацій газів;
- можливість використання зразкових сумішей для швидкої перевірки показів;
- установка з одного боку газоходу.

Як впливає з вищезазначеного, вміст НФ, ПХДД та ПХДФ не може бути визначений такими газоаналітичними системами безперервного контролю в лабораторіях ССЗ. Їх концентрації вимірюються періодично спеціалізованими лабораторіями аналітичного контролю природокористування і охорони навколишнього середовища в силу того, що така аналітична задача є надзвичайно складною, трудомісткою і дорогою. Складність санітарно-гігієнічного і екологічного контролю цих сполук викликана необхідністю проведення аналітичних вимірювань при дуже низькому рівні концентрацій, так і проблемою відділення токсичних ізомерів від нетоксичних (при визначенні ПХДД та ПХДФ) [13]. До теперішнього часу практично єдиним аналітичним методом достовірного визначення ПХДД та ПХДФ на необхідному рівні чутливості ( $10^{-12}$ – $10^{-15}$  г/м<sup>3</sup>) є хромато-мас-спектрометрія високої або низької роздільної здатності. Основний принцип хромато-мас-спектрометрії полягає в хроматографічному виділенні визначаємих сполук, їх іонізації та детектуванні іонів за величиною відношення маси до заряду, яке відбувається безпосередньо у мас-спектрометрі. Так, за допомогою хромато-мас-спектрометрії визначають молекулярну масу речовини і отримують дані про її структуру.



Рис. 2. Спосіб вимірювання концентрації димових газів упоперек перерізу газоходу [12]



Рис. 3. Спосіб вимірювання концентрації димових газів з вимірювальною щілиною [12]

Відсутність в Україні сертифікованих Всесвітньою організацією охорони здоров'я наукових лабораторій, зайнятих проблемою визначення стійких органічних забруднювачів (СОЗ), і, як наслідок, відсутність державного контролю промислових викидів на вміст ПХДД та ПХДФ не дозволяє створити законодавчу базу для введення нормативів на вміст діоксиноподібних речовин в об'єктах навколишнього середовища. В Україні до цих пір не розроблені нормативні акти по інвентаризації і методиці визначення СОЗ в рамках Стокгольмської конвенції. В той же час в багатьох країнах світу, у тому числі і Росії, вже давно функціонують спеціальні державні програми, направлені на зменшення емісії діоксинів в біосферу.

Так, наприклад, на ССЗ «Енергія», який є одним з найбільш небезпечних промислових об'єктів м. Києва, з 2001 р. впроваджена в промислову експлуатацію система інструментального контролю цілодобового, безперервного екологічного моніторингу викидів. Комплекси системи встановлені на вихідних газоходах кожного з котлоагрегатів після електрофільтрів і вимірюють концентрації С (0 - 0,5 г/м<sup>3</sup>), NO (0 - 5,0 г/м<sup>3</sup>), NO<sub>2</sub> (0 - 0,5 г/м<sup>3</sup>), SO<sub>2</sub> (0 - 0,5 г/м<sup>3</sup>) перед їх скиданням в загальний димар [14]. Основою комплексу є багатоканальний інфрачервоний газоаналізатор «СПЕКТР-4», в якому реалізована багатоканальна кювета для одночасного вимірювання С, NO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>. Як видно, для вимірювання концентрації діоксинів і фуранів наявне устаткування не придатне і моніторинг таких викидів на заводі не проводиться.

Для чутливого і достовірного визначення СОЗ в димових газах ССЗ доцільне створення спеціалізованого Центру по моніторингу СОЗ. В Україні є деякий початковий досвід [15] по організації Центру «Діоксин» на базі колишнього Всесоюзного НДІ гігієни і токсикології пестицидів, полімерів і пластичних мас (нині – Інститут екогігієни і токсикології ім. Л.І. Медведя).

### **Висновки**

Таким чином, для забезпечення надійного та безперервного контролю за концентраціями СОЗ у викидах ССЗ України потрібне удосконалення існуючих методик визначення окремих органічних забруднювачів і розробка нових уніфікованих газоаналізаторів, що охоплюють широкий спектр компонентів і що дозволяють тим самим звужити кількість методів визначення контрольованих речовин. В основі таких уніфікованих газоаналізаторів для визначення ПХДД та ПХДФ повинні бути поєднані методи хроматографії (головним чином газової, ГХ) і кількісної мас-спектрометрії, яке реалізується в сучасних хромато-мас-спектрометрах (ГХ/МС).

Україна – країна з ідеальним кліматом, унікальними природними заповідниками (південний берег Криму, Шацькі озера, Карпатські гори). Перетворити цю країну на територію, що непридатна для мешкання, – злочин перед власним народом. Пора, нарешті, владі обернутися лицем до екологічних проблем. Потрібно не тільки боротися з онкологічними захворюваннями, але і створити умови для їх попередження. Необхідна державна програма, фінансування, інвестиції в екологію. Необхідне освоєння сучасних технологій термічної переробки відходів, очищення димових газів, впровадження системи безперервного контролю викидів ССЗ. В Україні є достатній виробничий і науковий потенціал для вирішення цих проблем власними силами, залишилося тільки цей потенціал використовувати.

### **ЛІТЕРАТУРА**

1. Гигиеническая оценка загрязнения атмосферы выбросами мусоросжигательного производства и предложения по ее оздоровлению // Информационное письмо Республиканского центра научной медицинской информации. – К.: Укрмединформ, Вып. 4 – 1992. – 2 с.

2. Юфит С.С. Мусоросжигательные заводы – помойка на небе. Промышленные полигоны – конец мусорному кризису. Диоксины в грудном молоке // Лекции. / С.С. Юфит – Н. Новгород: НГМА, 1999. – 85 с.
3. Лапицкий В.Н., Е.А. Борисовская, В.И. Гончаренко Экологические последствия термической переработки твердых бытовых отходов // Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист / Зб. наук. праць. – 2010, випуск 1, – С. 80–83.
4. Національний план виконання Стокгольмської конвенції про стійкі органічні забруднювачі / Проект № GF/2732–03–4668. «Забезпечення заходів із розроблення Національного плану щодо впровадження в Україні Стокгольмської конвенції про стійкі органічні забруднювачі» – К.: – 2006. – 200 с.
5. Масаев И. В. Топливо из бытовых и растительных отходов / И. В. Масаев, Б. А. Пермяков // – М: ОАО «Нефтяник», – 2002. – 146 с.
6. Директива ЄС, Міжнародний документ від 04.12.2000 № 2000/76/ЄС. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://zakon1.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi.page=1&nreg=994\\_942](http://zakon1.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi.page=1&nreg=994_942)
7. Эколайн. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.ekoline.ru/pages/metod/zag\\_vozduha.htm](http://www.ekoline.ru/pages/metod/zag_vozduha.htm)
8. Юфит С.С. Мусоросжигательные заводы – опасность для России. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.methanetomarkets.ru/goods/mater25/>
9. ЗАО «ГидроНефтеГазЭкспорт». [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.hnge.ru/musor.html>
10. Ранский А.П. Термическое обезвреживание непригодных пестицидных препаратов / А.П. Ранский, М.В. Герасименко, В.И. Ильченко, Л.Н. Шебитченко, И.И. Тхор, Р.В. Петрук // Вопросы химии и химической технологии, – 2008 – №2 – С. 198–205.
11. Мельников Б.І. Екологічні аспекти діоксинового забруднення біосфери: методи ідентифікації та зниження викидів. / Б. І. Мельников, В. М. Набивач, Р. В. Смотраєв, О. В. Кожура // Екологія та ноосферологія. – 2008. – Т.19. – №3–4. – С. 88–103.
12. SICK/Maihak GmbH [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.sick-maihak.ru>
13. Крылов А. И. Определение приоритетных органических токсикантов при санитарно-химической и экологической экспертизах: Методологические подходы и методическое обеспечение. / А.И. Крылов // Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева), 2004, т. XLVIII, № 2.
14. Мовчан Н. М. Инструментальный контроль выбросов в атмосферу киевского мусоросжигательного завода «Энергия» / Н. М.Мовчан, З. Д. Безрук, А. А. Дашковский, В. Ф. Примиский / Web-страница 2-й Международной конференции «Сотрудничество для решения проблемы отходов», сост. 9–10 февраля 2005 г. в Харькове [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://waste.com.ua/cooperation/2005/theses/movchan.html>
15. Проданчук Н.Г. Химико-аналитические аспекты полихлорированных дибензо-парадиоксинов и других стойких органических загрязнителей. / Н.Г. Проданчук, В.Д. Чмиль // Сучасні проблеми токсикології. – 2006. – №1. – С. 4–14.

Надійшла 18.01.2011